LES ANTENNES

par André DUCROS F5AD

L'auteur se propose dans une suite d'articles d'initier l'amateur à la technique des antennes. Dans la première partie il explique les grandes lignes de la propagation.

I. LA PROPAGATION

I.1. LE SOLEIL

Chacun sait aujourd'hui que la propagation des ondes radioélectriques est influencée par le soleil et par sa plus ou moins grande activité ; on parle à ce sujet de maximum du cycle solaire, d'année du soleil calme, de nombre de Wolf, etc. Faisons donc connaissance avec notre astre du jour .

Le soleil est une étoile, assez proche de nous (150 millions de km) constituée d'hydrogène ; ce gaz, compressé sous son propre poids, comme tout gaz s'échauffe, mais sa masse et les pressions sont telles que l'échauffement au centre atteint plusieurs millions de degrés. Dans ces conditions se produit le phénomène de la fusion thermonucléaire où deux atomes d'hydrogène s'unissent pour produire de l'énergie et un atome d'hélium. C'est le principe de la bombe H. Les rayons gamma produits par ce noyau en fusion cherchent à s'en éloigner, et perdent de leur énergie en traversant les masses d'hydrogène qui l'entourent ; ils deviennent rayons X, puis rayons ultraviolets, et enfin lumière visible à leur apparition en surface.

L'énergie qui nous parvient du soleil comprend principalement de la lumière visible, des infrarouges et des ultraviolets (fig. I.1*a*).

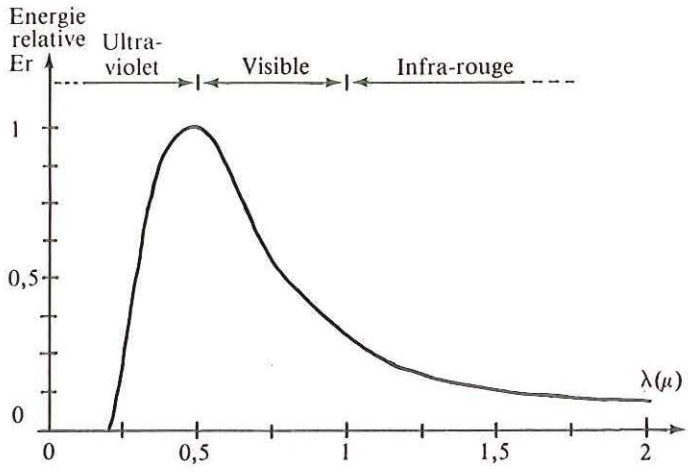


Fig. I.1*a*. Répartition de l'énergie rayonnée par le soleil ; soleil au zenith, la terre reçoit à peu près 1 kW/m².

I.1.1. Les taches solaires

Observables parfois à l'œil nu (mais à travers un verre fumé ou une double épaisseur de film voilé), ces taches, dont les dimensions sont telles qu'elles pourraient contenir plusieurs fois la terre, nous apparaissent sombres car leur température est légèrement

inférieure à celle de la surface solaire. On les voit apparaître, tourner avec le soleil (une rotation en 27 jours environ) et enfin s'estomper et disparaître en quelques jours ou quelques semaines.

Le nombre de taches et le nombre de groupes de taches sont en relation directe avec l'activité de l'étoile, on en tire le nombre de Wolf. La figure I.1.1*a* donne la variation de ce nombre de Wolf de ses premiers relevés à nos jours.

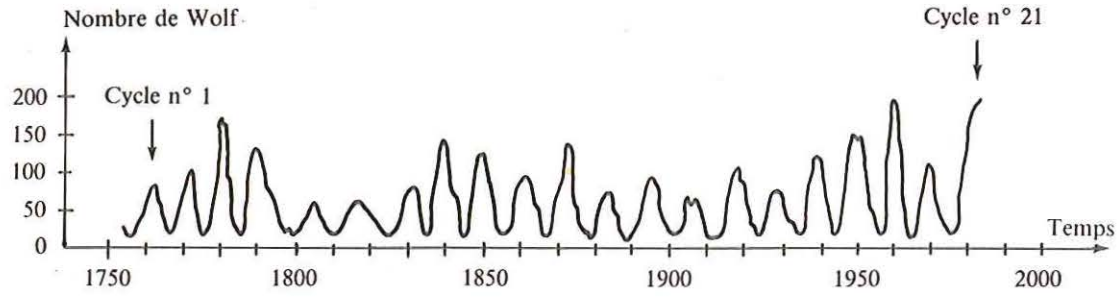


Fig: I.1.1.a. *Variation du nombre de Wolf de ses premiers relevés à nos jours.*

On remarque immédiatement cette alternance de maximums et de minimums d'une période moyenne de 11 ans, et appelés cycles solaires. L'année 1980 correspondait au maximum du 21e cycle. Ce maximum fut particulièrement important, et l'activité doit maintenant décroître jusqu'à un minimum aux alentours de 1987 où le nombre de Wolf restera voisin de zéro, sauf à l'occasion de quelques bouffées mais de courtes durées auxquelles correspondront de rapides soubresauts de propagation en particulier sur le 10 et le 15 m.

Parmi les autres manifestations observables de l'activité solaire, on peut noter les protubérances, durant lesquelles l'astre éjecte des flots de matières qui viennent retomber à sa surface quelques heures après, et les éruptions chromosphériques, points brillants sur sa surface, et qui augmentent le temps de quelques minutes la quantité de rayonnement ou de particules envoyées dans l'espace. La terre et la propagation seront concernés 8 min plus tard par ce surrayonnement, et une trentaine d'heures après par l'émission de particules.

I.2. LA PROPAGATION IONOSPHÉRIQUE

I.2.1. L'ionisation des hautes couches atmosphériques

Sous l'influence des rayonnements issus du soleil, les traces de gaz qui subsistent dans notre haute atmosphère ont tendance à *s'ioniser* : les atomes initialement neutres se voient arracher un ou plusieurs électrons périphériques, formant d'une part un ion positif et de l'autre des électrons libres. La ténuité de l'atmosphère aux altitudes concernées (au-dessus de 30 km) limite les possibilités de recombinaison par choc entre ces ions et ces électrons, et certaines couches peuvent rester ionisées même après la fin du rayonnement ionisant, c'est-à-dire après le coucher du soleil.

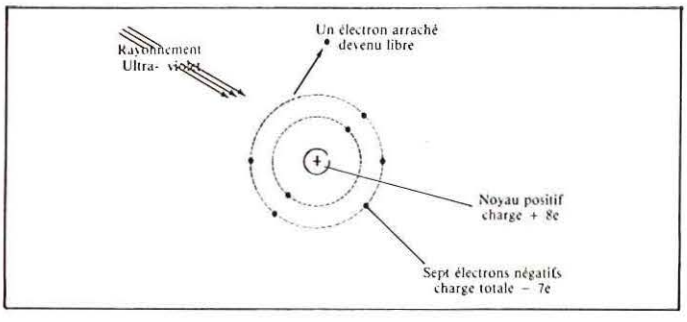


Fig. I.2.1*a*. Ionisation d'un atome par le rayonnement solaire en ultra-violets.

Le rayonnement ultraviolet du soleil s'atténue au fur et à mesure qu'il pénètre dans notre atmosphère. Sur les très hautes couches où son pouvoir ionisant est puissant, se trouvent peu d'atomes susceptibles d'être concernés ; par contre sur les couches inférieures où la densité augmente, le rayonnement a perdu de son efficacité. Aussi selon la longueur d'onde du rayonnement, et les atomes concernés, l'ionisation s'effectue sélectivement à des altitudes pour lesquelles le couple longueur d'onde-densité passe par un maximum d'efficacité : on obtient des couches ionisées, distinctes les unes des autres.

En partant du sol, on rencontre tout d'abord *la couche* D, située entre 50 et 90 km ; comme la densité de l'atmosphère est encore importante à cette altitude, les électrons et les ions s'y recombinent assez facilement et son ionisation dépend directement de son éclairement : ionisation dès le matin, passage par un maximum à midi, recombinaison dans les premières heures de la nuit.

Située entre 100 et 110 km se trouve *la couche* E. Tout comme la couche D, son ionisation commence au lever du soleil, culmine vers midi, et diminue le soir mais plus lentement pour ne s'annuler qu'en fin de nuit.

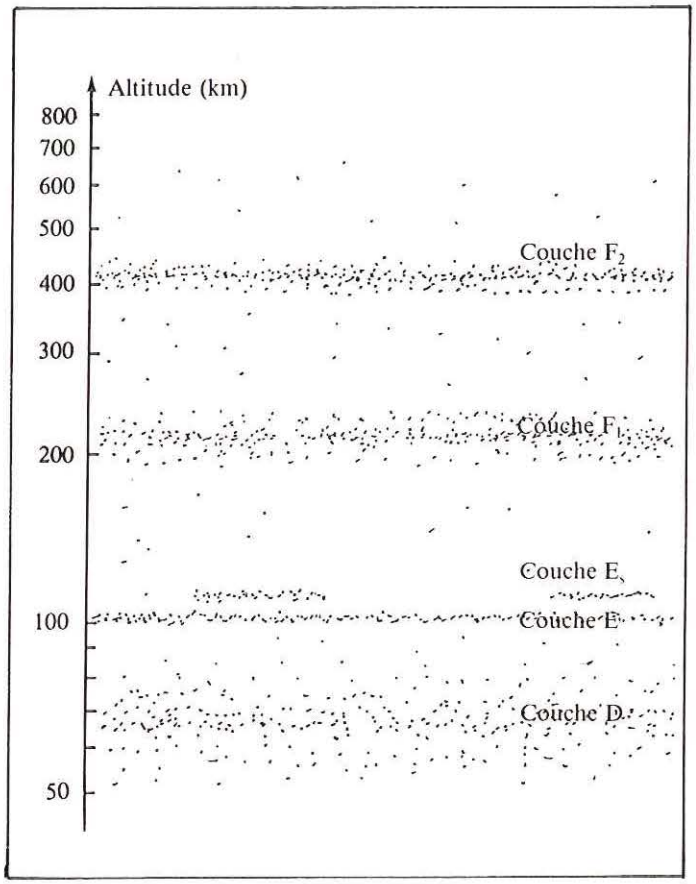


Fig. I.2.1*b*. Les couches ionisées de l'atmosphère sont en fait des zones où l'ionisation passe par un maximum.

On distingue vers 110-120 km une couche dite E *sporadique* assez fugitive, apparaissant plutôt en début d'été vers midi ou en fin de journée, assez peu connue mais d'une importance primordiale pour les T.H.F. puisque cette couche permet des propagations ionosphériques sur 144 MHz.

Enfin vers 200 et 400 km se trouvent les couches F_1 et F_2 qui se rejoignent la nuit en une couche F unique vers 300 km. Ces couches situées dans des zones à faible densité atmosphérique voient elles aussi leur ionisation passer par un maximum en milieu de journée, mais celle-ci n'a pas le temps de s'annuler dans la nuit, surtout en été, et passe seulement par un minimum juste avant l'aube.

I.2.2. Propriétés réflectrices des couches ionisées

L'intérêt, en ce qui nous concerne, de ces différentes couches, réside dans le fait qu'elles ont la propriété de réfléchir les ondes radioélectriques (fig. I.2.2*a*) ; l'angle α est appelé angle d'incidence de l'onde par rapport à la couche ; θ est l'angle de départ au-dessus de l'horizon.

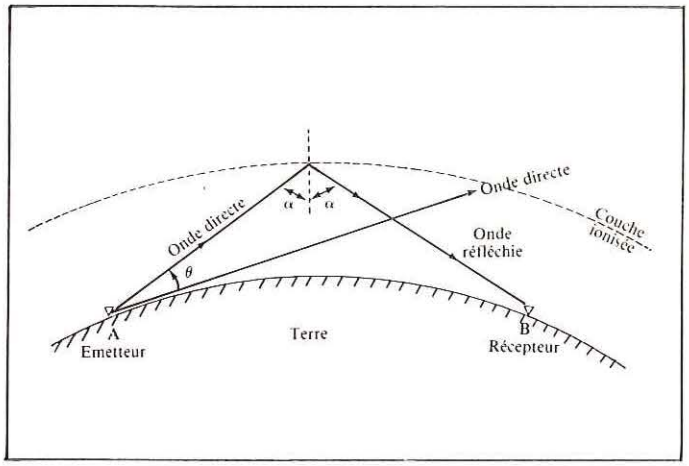


Fig. I.2.2*a*. Pour aller de A en B l'onde doit se réfléchir sur une couche ionisée.

C'est grâce à cette propriété que des liaisons radio peuvent s'effectuer à grande distance, en effet les ondes radioélectriques, comme la lumière se propagent en ligne droite, et la courbure de la terre fait qu'une liaison entre les points A et B sur la figure serait impossible par l'onde directe alors qu'elle peut se faire à l'aide de l'onde réfléchie.

La figure I.2.2*b* montre pour une couche donnée l'influence de l'angle de départ θ ; on peut constater que plus l'angle de départ est faible au-dessus de l'horizon, plus l'onde retombe loin ; la distance maximale étant obtenue pour un angle de départ nul (liaison AD).

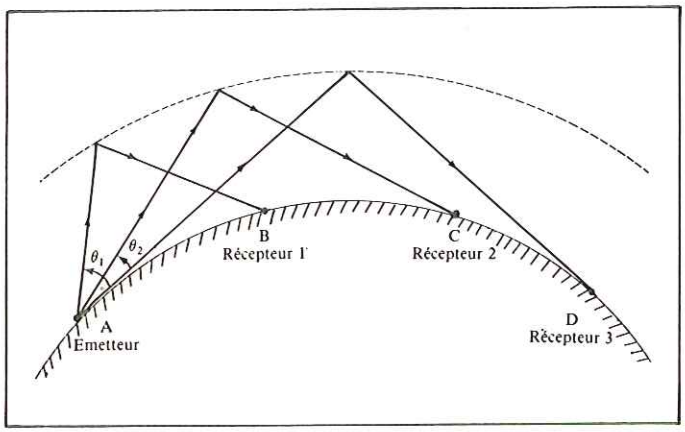


Fig. I.2.2*b*. Pour une couche donnée, l'onde retombe d'autant plus loin que l'angle de départ est faible.

Sur la figure I.2.2*c*, on a représenté deux trajets d'ondes possibles pour aller de l'émetteur A au récepteur C, le premier ABC correspond à un angle de départ faible (θ_1) conformément à ce qui a été dit plus haut ; le second AB'C est plus complexe, il représente une liaison dite en deux bonds. L'onde après s'être réfléchie sur la couche ionisée rebondit sur la surface terrestre (ou sur celle de la mer) pour un deuxième saut, l'angle de départ correspondant (θ_2) est relativement élevé. Il ne faut pas en conclure que la

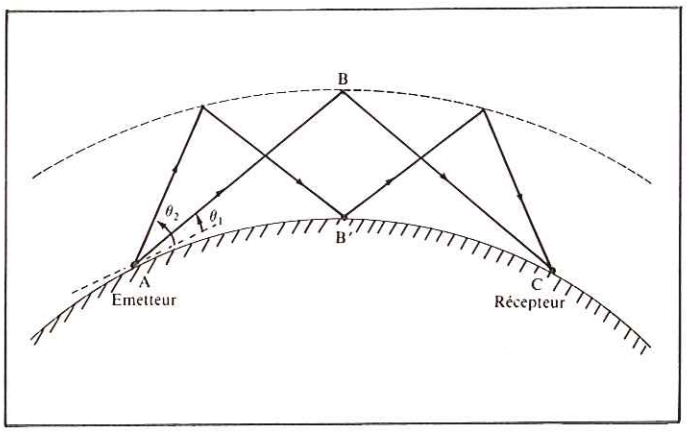


Fig. I.2.2*c*. La liaison entre A et C peut s'effectuer en un ou plusieurs bonds.

liaison entre A et C est possible quel que soit l'angle de départ, faible ou élevé. En effet, l'atténuation subie par l'onde sur son trajet est d'autant plus importante que le nombre de ses réflexions augmente ; or la liaison en deux bonds (ou plus) nécessite bien entendu plus de réflexions que celle en un bond ; en conséquence, et dans une optique de trafic à grande distance, il faut toujours choisir des antennes qui favorisent les angles de départ bas sur l'horizon afin de limiter le nombre de bonds que devra faire l'onde radio pour atteindre le correspondant.

Quel que soit l'angle de départ, la distance de retombée dépend de la hauteur de la couche où s'effectue la réflexion ; plus haute sera cette couche, plus longue sera la liaison (fig. I.2.2*d*).

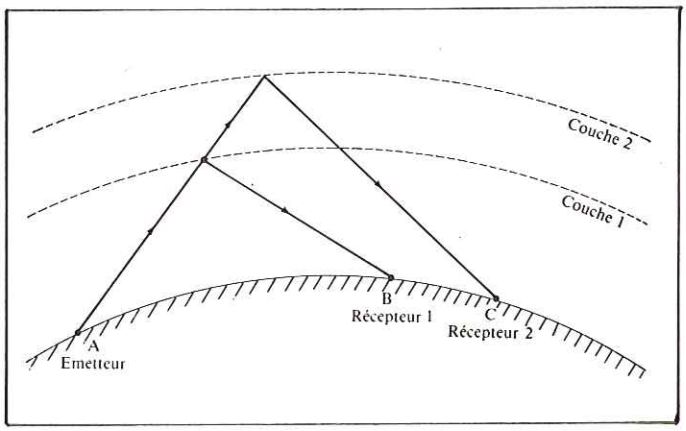


Fig. I.2.2*d*. Pour un angle de départ donné, l'onde retombe d'autant plus loin que la couche réflectrice est haute.

La figure I.2.2*e* donne pour les hauteurs moyennes des couches E, E sporadique, F1 et F2, les distances de retombée en fonction de l'angle de départ de l'onde émise par l'antenne ; la couche D n'est pas citée car comme nous le verrons, celle-ci ne réfléchit pas les ondes, mais au contraire les absorbe. Ces distances sont données pour un bond, elles sont à doubler en cas de liaison à double bonds, à tripler en triple bonds, etc.

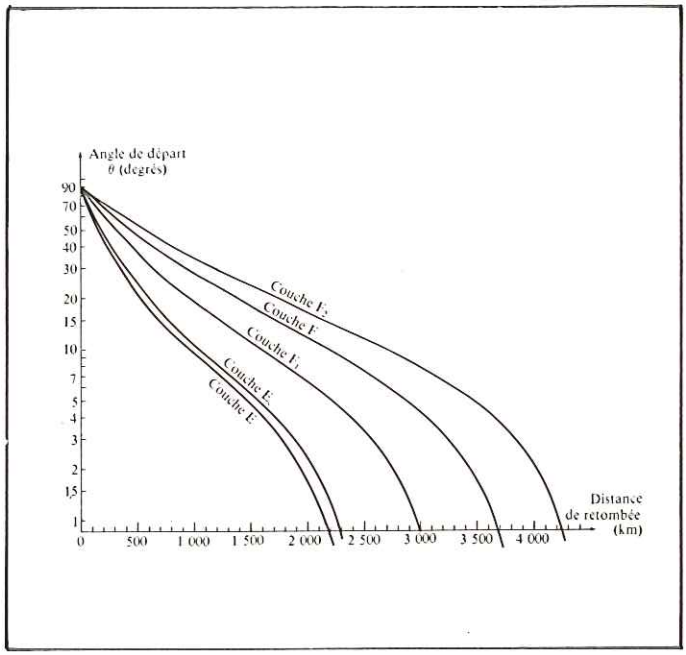


Fig. I.2.2*e*. Courbes donnant pour les différentes couches la distance à laquelle va retomber l'onde en fonction de son angle de départ.

I.2.3. Angle et fréquence critiques, F.M.U., « skip »

Les propriétés réflectrices d'une couche ionisée augmentent avec son taux d'ionisation ; parallèlement une onde radio est d'autant plus facilement réfléchie que sa fréquence est basse.

Pour une fréquence donnée, on constate que l'onde radio n'est pas obligatoirement réfléchie, et que la couche peut être traversée ; en ce cas, l'onde s'échappe et disparaît dans l'espace.

La figure I.2.3*a* montre l'influence de l'angle d'incidence sur cette possibilité de traversée de la couche : pour l'angle α_2 l'onde est réfléchie, pour α_1 plus faible il y a traversée. En fait, l'onde est tout de même déviée, mais pas suffisamment.

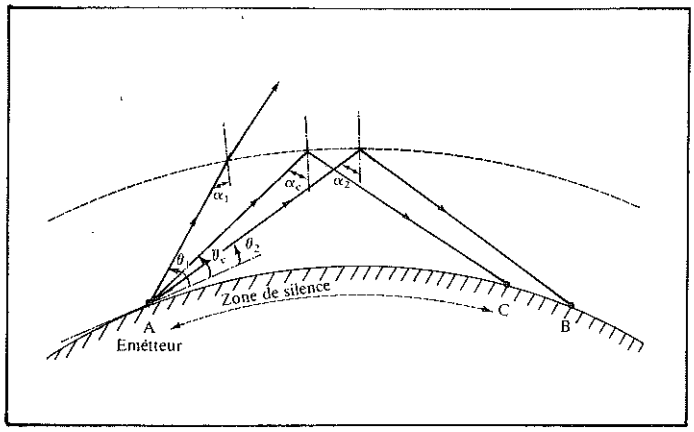


Fig. I.2.3*a*. Pour $\alpha < \alpha_c$ l'onde n'est plus réfléchie et disparaît dans l'espace. α_c est l'angle critique de la couche à la fréquence considérée.

L'angle α_c tel que pour $\alpha < \alpha_c$ l'onde s'échappe et pour $\alpha > \alpha_c$ l'onde est réfléchie, s'appelle *angle critique* ; il lui correspond pour une hauteur de couche donnée, un angle de départ θ_c et l'on constate tout de suite que toute l'énergie rayonnée par l'antenne au-dessus de θ_c est destinée à se perdre dans l'espace sans espoir de retour, seule l'énergie rayonnée en-dessous de θ_c est susceptible de joindre un correspondant terrestre.

L'angle α_c augmente avec la fréquence et θ_c diminue ; pour une couche donnée, il faut donc pour obtenir la réflexion sur des fréquences élevées, « tirer » avec des angles de plus en plus bas sur l'horizon ; à la limite, même en tirant à l'horizontale, arrive une fréquence au-dessus de laquelle il n'y a plus réflexion (fig. I.2.3*b*), il s'agit de la F.M.U. (fréquence maximale utilisable), toute fréquence supérieure à la F.M.U. disparaît dans l'espace quel que soit son angle de départ.

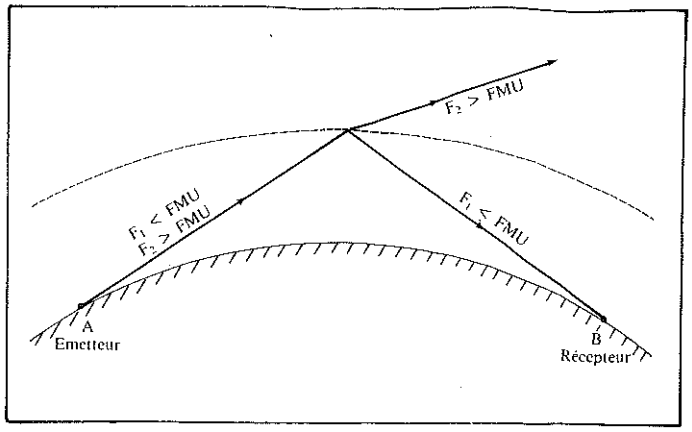


Fig. I.2.3*b*. Au-delà d'une fréquence donnée appelée F.M.U., l'onde n'est plus réfléchie même pour un rayonnement quittant l'antenne à l'horizontale.

Les courbes de la figure I.2.3*c* donnent l'allure de l'évolution de la F.M.U. sur la couche F au cours d'une journée d'été et au cours d'une journée d'hiver ; on peut être étonné du fait qu'en hiver la F.M.U. atteinte en milieu de journée soit supérieure à celle obtenue en été, mais il faut se souvenir qu'en hiver la terre est plus proche du soleil et que le bombardement ionisant à ces altitudes est plus élevé ; par contre on voit bien la F.M.U. suivre le soleil et descendre dès que cesse l'éclairement ; la nuit étant plus longue en hiver, cette F.M.U. a le temps de descendre assez bas et la bande 20 m par exemple « se ferme » ce qui ne se produit pas ou peu en été.

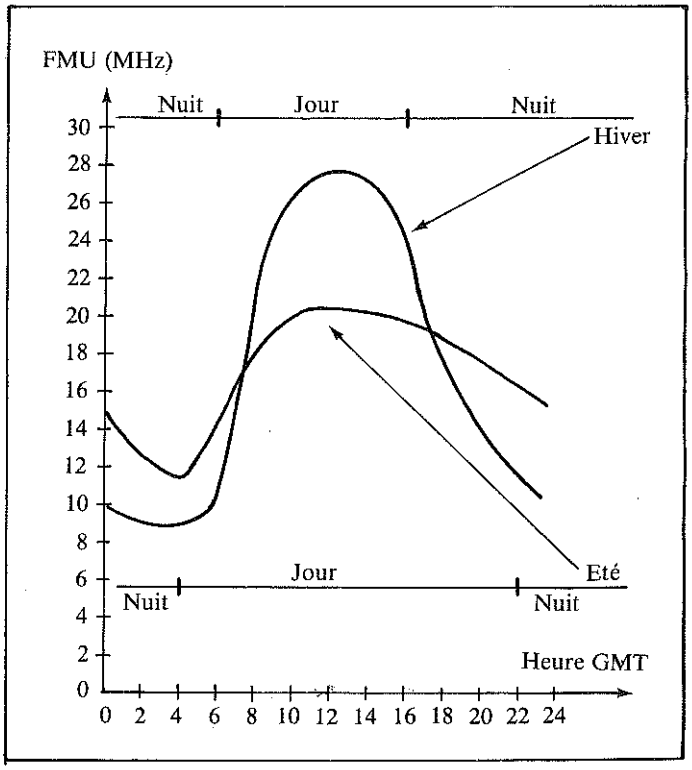


Fig. I.2.3*c*. Exemple de variation de la F.M.U. pour la couche F_2 pour une journée d'hiver et une journée d'été (Soleil moyen).

Inversement, l'angle critique diminuant avec la fréquence, arrive une fréquence à partir de laquelle il y a réflexion même en tirant à la verticale (fig. I.2.3*d*), il s'agit de la *fréquence critique.* A cette fréquence et en-dessous une station susceptible de passer assez rapidement en réception pourrait entendre son propre signal retomber du ciel. C'est ce que font les sondeurs ionosphériques chargés d'étudier ces phénomènes de propagation en divers points du globe.

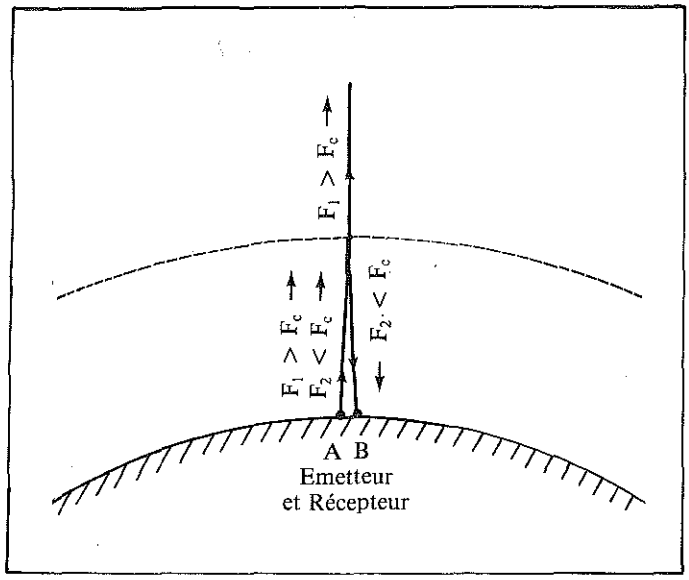


Fig. I.2.3*d*. En-dessous d'une certaine fréquence appelée fréquence critique, même des ondes émises à la verticale sont réfléchies et retombent au sol.

En se reportant à la figure I.2.3*a*, on peut voir que pour toute fréquence supérieure à la fréquence critique apparaît une zone autour de l'émetteur, dans laquelle l'onde ne peut pas retomber (zone s'étendant de A à C), en effet, pour c l'onde disparaît dans l'espace et pour c l'onde retombe au-delà de C ; il s'agit de la *zone de silence* ; comme nous venons de le voir c diminue quand la fréquence augmente, cette zone est donc d'autant plus grande que la fréquence est élevée, c'est ce que confirme l'écoute de nos bandes, où l'on peut certains jours sur 80 m contacter des stations très proches (donc Fc voisine ou supérieure à 3,5 MHz), alors que déjà sur 40 m ne sont pas entendues des stations à moins de 200 km, et qu'aucune station française n'est audible sur 20 m, et encore moins sur 15 et 10 m ; sur cette dernière bande, d'ailleurs il arrive qu'aucune station ne puisse être entendue, d'où l'on peut conclure que la F.M.U. est inférieure ce jour-là à 28 MHz.

Par forte activité solaire la fréquence critique a tendance à augmenter et l'on commence à entendre des stations rapprochées sur 20 ou 15 m, on parle alors de *short skip*. (Il s'agit dans tout ceci de stations entendues par propagation ionosphérique, à ne pas confondre avec les stations locales qui elles, arrivent en onde de sol et sont insensibles à l'ionisation de la haute atmosphère).

Chacune des couches, E, Es, F1, F2 suivant son état d'ionisation à l'instant considéré possède ses propres angles critique, fréquence critique et F.M.U. L'onde émise, selon sa fréquence peut se réfléchir sur l'une ou l'autre de ces couches ou même successivement sur plusieurs d'entre elles (fig. I.2.3*e*).

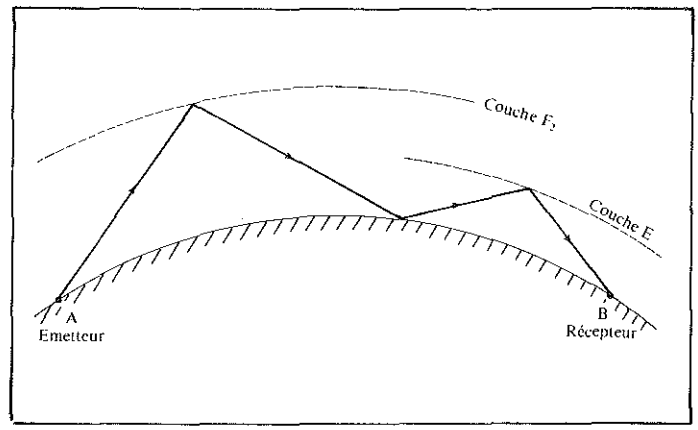


Fig. I.2.3*e*. Sur un long trajet l'onde peut bénéficier de réflexion sur des couches différentes ; ici, premier bond via F2, deuxième bond via couche E.

I.2.4. L'absorption ionosphérique, F.O.T.

Les particules électrisées qui forment les couches ionisées vibrent sous l'influence de l'onde électromagnétique qui les traverse ; plus la fréquence est basse plus l'amplitude de ces vibrations est grande, et plus leur mouvement peut créer des chocs. Parallèlement, plus la couche est dense, plus ces chocs sont probables. Quand ils ont lieu, l'énergie électromagnétique se transforme en chaleur : l'onde est absorbée. Sont concernées par ce phénomène les bandes basses et surtout la couche D.

Pour effectuer une liaison radio entre deux points donnés on constate que la fréquence à choisir ne doit pas être trop élevée (elle doit être inférieure à la F.M.U.) car il n'y aurait pas de réflexion ; ni trop basse car elle serait absorbée par la couche D (le jour). Il y a un juste milieu à trouver, c'est la F.O.T. *(fréquence optimale de travail)* que l'on prend en général égale à 85 % de la F.M.U., quand on peut. Au niveau amateur la bande qui donnera de meilleurs résultats en DX sera généralement la plus haute parmi celles qui acceptent de passer à l'instant considéré.

L'absorption ionosphérique peut devenir brutalement très importante et affecter jusqu'aux bandes hautes lors d'éruptions chromosphériques sur le soleil ; la propagation disparaît alors sur terre pour quelques heures, c'est le *black out radioélectrique* ; il n'y a plus qu'à attendre patiemment que le phénomène se calme devant son récepteur devenu muet. Les premières bandes à reprendre vie seront le 10 m puis le 15 m.

I.2.5. Aurores boréales, traînées de météorites

Les particules ionisées projetées vers nous par les éruptions solaires sont captées par le champ magnétique terrestre au niveau des pôles et y provoquent les *aurores boréales,* zones fortement ionisées à en devenir lumineuses et qui ont la propriété de réfléchir les ondes T.H.F. et même U.H.F. ce qui n'est pas le cas des couches ionisées classiques. Les stations assez proches des zones polaires pour profiter du phénomène tournent leurs antennes vers le Nord et se contactent ainsi par réflexion. Il est cependant nécessaire de suivre le point de réflexion qui se déplace parfois rapidement. Le Nord de la France peut être concerné par ce type de trafic.

Autre ionisation particulière de la haute atmosphère, celle provoquée par la chute de météorites, même minuscules qui, en s'enflammant au contact des hautes couches, ionisent par frottement et fugitivement sur plusieurs kilomètres des sortes de traînées sur lesquelles peuvent s'effectuer des réflexions en onde T.H.F. Le phénomène se produit aux environs de 110 km d'altitude ; vu sa brièveté, le genre de trafic qui en découle se déroule principalement les jours de pluies d'étoiles filantes, et avec des procédures accélérées d'échange de contrôles.

I.2.6. La propagation ionosphérique des bandes allouées aux amateurs

On sépare nos bandes décamétriques en bandes dites hautes et bandes dites basses, le clivage s'effectuant à 10 MHz. Les 160, 80 et 40 m sont donc des bandes basses ; les 20, 15 et 10 m des bandes hautes.

Sur 160 m, l'onde de fréquence relativement basse (1,8 MHz) est absorbée entièrement par la couche D durant la journée ; il n'y a pas de propagation possible sauf en onde de sol ; le soir venu, la couche D se désionise, l'onde peut la traverser et va se réfléchir sur la couche E, permettant des liaisons européennes toute la nuit. En fin de nuit, deviennent possibles des liaisons transcontinentales à condition que tout le trajet de l'onde se fasse sur la face non éclairée de la terre. Les bruits atmosphériques, très violents à ces fréquences limitent cependant fortement les possibilités de DX. Les périodes à surveiller se situent l'hiver en fin de nuit.

Sur 80 m, de jour l'absorption de l'onde dans la couche D dépend du temps qu'elle doit passer dans cette zone.

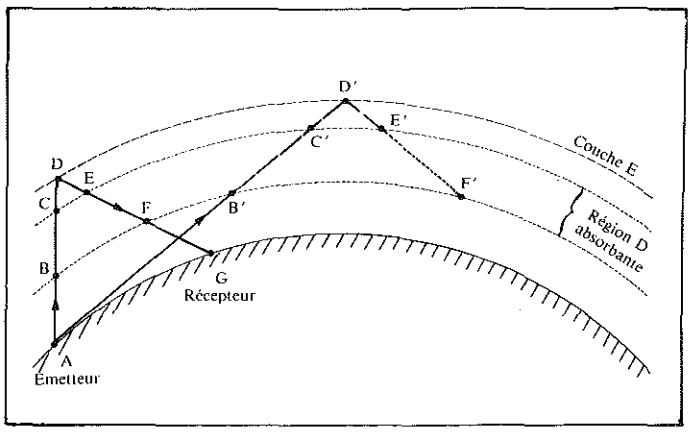


Fig. I.2.6*a*. La liaison à courte distance est possible car l'onde traverse moins longtemps la couche D.

Sur la figure I.2.6*a* on voit que pour un angle de départ élevé (liaison à courte distance), l'onde reste peu de temps dans la couche absorbante et peut en ressortir ; par contre pour un angle de départ faible (liaison à grande distance) l'onde est absorbée sur une plus grande distance (B'C' + E'F' > BC + EF) et ne retombe pas au sol. C'est pour cela que de jour le 80 m ne passe qu'à quelques centaines de kilomètres, guère plus et que dès le soir tombé, l'absorption diminuant, la bande commence à couvrir toute la France puis l'Europe. En fin de nuit, si la F.M.U. au niveau de la couche E descend assez bas, l'onde peut aller se réfléchir sur la couche F, et permet des liaisons transcontinentales de bonne qualité, surtout l'hiver (nuits plus longues et moins de parasites atmosphériques).

Sur 40 m, l'absorption de la touche D se fait moins sentir, les liaisons diurnes peuvent donc couvrir les pays voisins de la France, par contre, la fréquence critique de la couche E peut être inférieure à 7 MHz, dans ce cas les ondes aux angles de départ élevés ne sont plus réfléchies, et l'on observe une zone de silence de quelques centaines de kilomètres autour de l'émetteur. De nuit, comme pour le 80 m, la propagation s'allonge via la couche F.

Sur 20 m, la couche D agit peu ; la fréquence critique des couches E ou F étant souvent inférieure à 14 MHz, on observe une zone de silence de plusieurs centaines de kilomètres, sauf activité solaire importante, et le trafic via la couche F permet des liaisons intercontinentales assez faciles ; la nuit sauf souvent en été ou en période de soleil très actif, la F.M.U. de la couche F peut descendre en-dessous de 14 MHz, la bande s'éteint alors, plus aucun signal n'y est entendu jusqu'au petit matin.

Sur 15 m, on observe les mêmes phénomènes que sur 20 m, mais amplifiés : zone de silence plus étendue, fermeture de la bande plus tôt le soir après le coucher du soleil.

Sur 10 m enfin, la zone de silence dépasse souvent 1 000 km et la bande faute d'une F.M.U. assez élevée sur la couche F, parfois ne s'ouvre pas de la journée en période de soleil calme. Sous forte activité solaire par contre, les liaisons intercontinentales y sont excellentes quoique se perpétuant rarement la nuit.

Dans le domaine des T.H.F. (fréquences supérieures à 30 MHz) nombre de pays autorisent leurs amateurs sur 50 MHz. Cette bande est la seule en T.H.F. à bénéficier de propagation via couche F, cela se produit le plus souvent en période de forte activité solaire et permet des liaisons intercontinentales assez exceptionnelles. Réduits à l'état d'écouteurs, les français peuvent à ces périodes surveiller le 10 m où certaines stations d'Amérique lancent appel vers l'Europe pour tenter le duplex, eux en 50 MHz, nous sur 28 MHz. Le 72 MHz n'est concerné que par la couche E sporadique et en ces occasions peut se propager à plusieurs milliers de kilomètres ; mais nous n'y avons pas droit non plus.

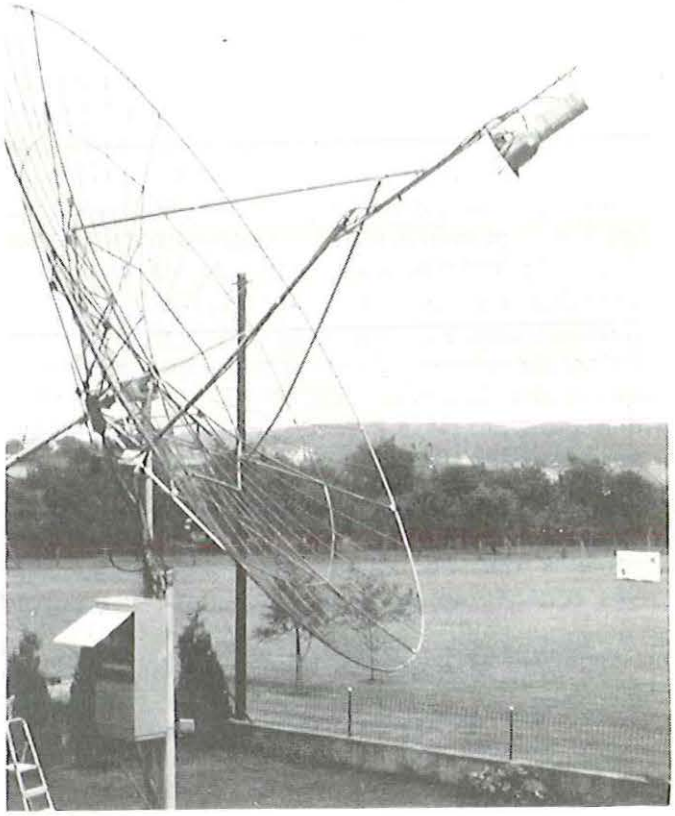
Le 144 MHz auquel nous avons droit, ne bénéficie presque pas de propagation ionosphérique, sauf en début d'été en milieu ou fin de journée, via la couche E sporadique ; des liaisons de 1 000 à 2 500 km s'y produisent alors avec des signaux relativement puissants. Le phénomène est assez fugitif et doit être exploité par un trafic rapide. Il est difficile à prévoir mais étant précédé par l'apparition sur les canaux TV 2 et 4 ou sur les bandes FM 88-108 ou 66-73 MHz de stations étrangères, l'écoute de ces fréquences permet souvent de guetter avec efficacité ce type de propagation sur 144 MHz.

Pour les trajets transéquatoriaux, par exemple entre le bassin méditerranéen et l'Afrique du Sud, on note parfois des anomalies de propagation permettant des liaisons sur 50 ou 144 MHz. Les essais systématiques se faisant parallèlement sur 50 MHz, les amateurs français sont un peu défavorisés dans ce genre de tentatives.

I.2.7. Polarisation de l'onde réfléchie

On constate en ondes décamétriques que l'onde radioélectrique après réflexion ionosphérique ne possède plus la polarisation qu'elle avait au départ ; cette polarisation modifiée, en outre n'est pas constante, et peut tourner plus ou moins lentement ou devenir elliptique au niveau de l'antenne de réception ; en conséquence, il n'est pas nécessaire d'utiliser sur ces fréquences une antenne polarisée de la même manière que celle de son correspondant.

Ceci n'est pas vrai pour la liaison en onde de sol où le fait d'utiliser deux polarisations différentes peut atténuer le signal assez fortement, ainsi qu'en T.H.F. ou même via sporadique E la polarisation semble relativement conservée.



I.3. LA PROPAGATION TROPOSPHÉRIQUE

I.3.1. L'atmosphère terrestre

La propagation troposphérique des ondes radio s'effectue dans la partie basse de notre atmosphère (de 0 à 3 000 m environ) ; dans cette zone constituée principalement d'azote, d'oxygène et de vapeur d'eau, la température diminue régulièrement lorsqu'on s'élève en altitude pour atteindre – 56° environ vers 11 000 m ; toute cette portion d'atmosphère située entre 0 et 11 000 m constitue la troposphère (fig. I.3.1*a*).

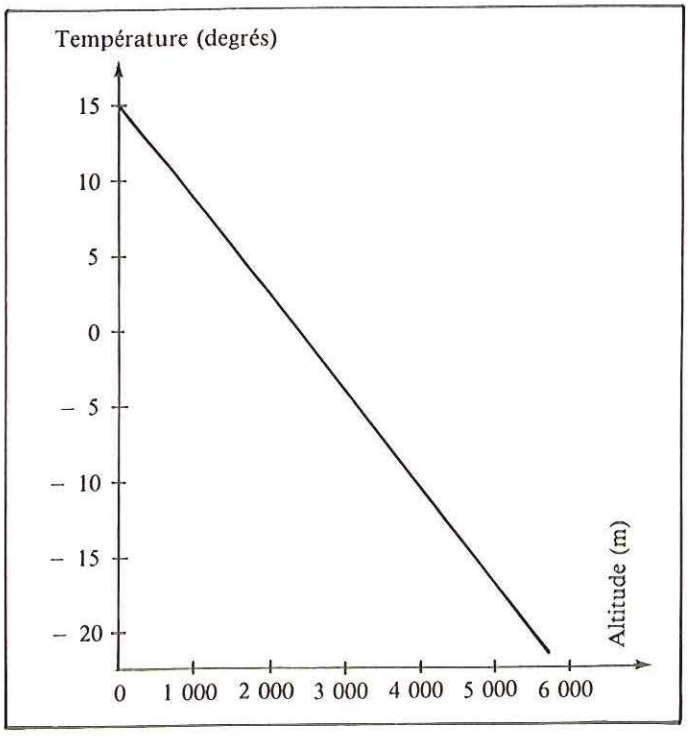


Fig. I.3.1*a*. Variation de la température atmosphérique moyenne entre 0 et 5 000 m.

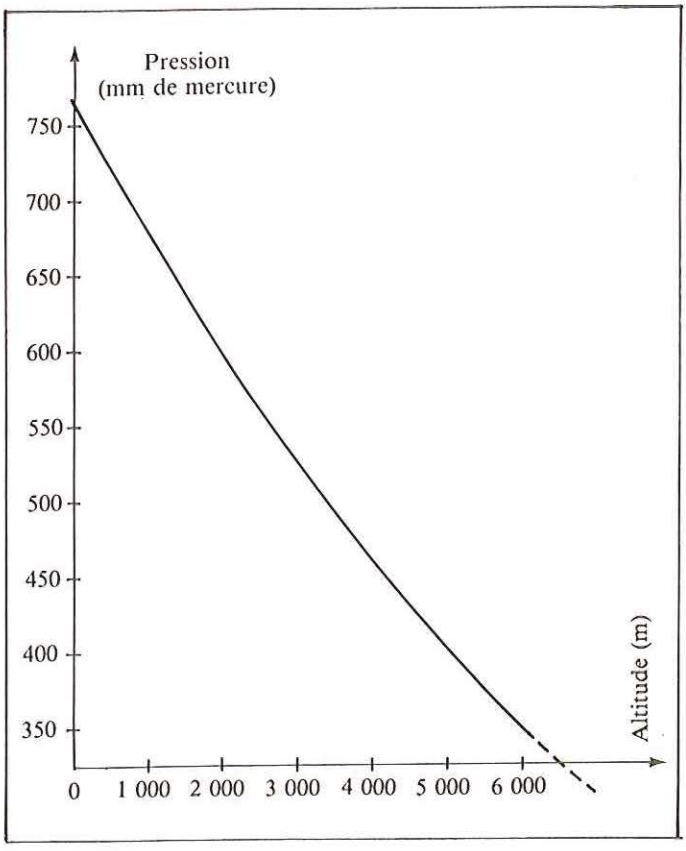


Fig. I.3.1*b*. Variation de la pression atmosphérique moyenne entre 0 et 5 000 m.

La pression atmosphérique diminue elle aussi lorsqu'on s'élève en altitude. La figure I.3.1*b* en donne la variation entre 0 et 5 000 m.

I.3.2. La réfraction atmosphérique

Que ce soit pour les ondes lumineuses ou pour les ondes radioélectriques, la température, la pression de l'air et son humidité déterminent son *indice de réfraction.* Toutes choses égales par ailleurs, l'indice de réfraction :

- augmente avec la pression,
- augmente quand la température diminue,
- augmente avec l'humidité.

Il est donc élevé pour un air froid et humide à forte pression ; il est faible pour un air sec et chaud à faible pression. La figure I.3.2*a* donne la variation de cet indice radioélectrique entre 0 et 4 000 m pour un pourcentage d'humidité supposé constant.

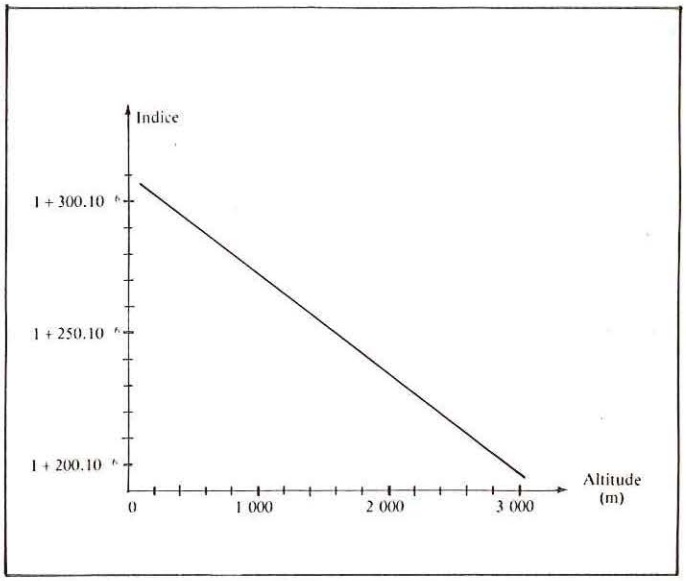


Fig. I.3.2*a*. Variation de l'indice radioélectrique de l'atmosphère en fonction de l'altit...

Il faut savoir qu'un rayon lumineux (ou une onde radio) se déplaçant dans un milieu non homogène comme l'est notre atmosphère (milieu dont l'indice dépend de l'altitude par exemple) *ne se propage pas en ligne droite,* et le rayon est d'autant plus courbé que la variation d'indice est rapide, à la limite même, si la variation d'indice est assez brutale, la courbure est telle que l'onde retombe vers le sol (figs I.3.2*b* et *c*). Dans le cas d'une atmosphère standard (variation d'indice de 38.10-6/km) l'onde n'est que faiblement rabattue, mais le phénomène n'est pas négligeable

puisque l'horizon radio se retrouve tout de même rejeté environ 1,33 fois plus loin que l'horizon géométrique (fig. I.3.2*d*).

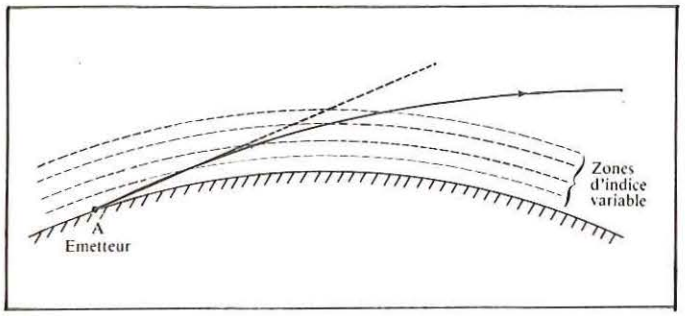


Fig. I.3.2*b*. La variation d'indice de l'atmosphère en fonction de l'altitude courbe légèrement le trajet de l'onde.

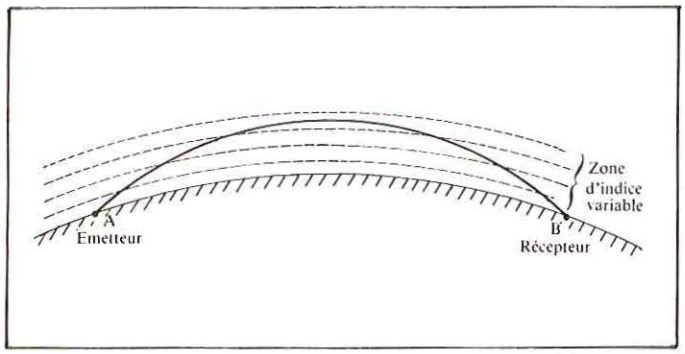


Fig. I.3.2*c*. Si la variation d'indice est suffisante, l'onde peut être rabattue au sol.

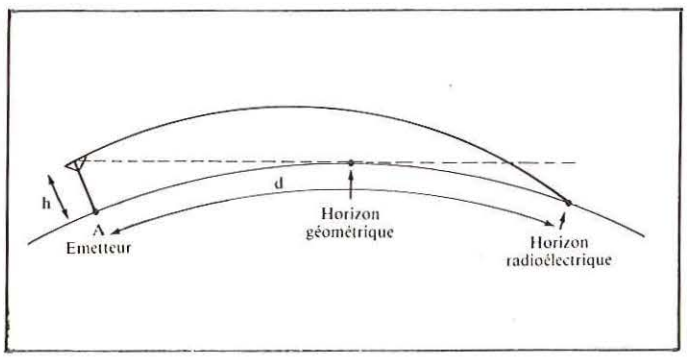


Fig. I.3.2*d*. Si h est la hauteur de l'antenne au-dessus du niveau du sol, l'horizon radioélectrique d est donné par la formule $d = 4{,}7\sqrt{h}$ avec d en km et h en m.

Si pour des raisons climatologiques, la variation d'indice devient supérieure à 38.10-6/km, l'onde se trouve fortement rabattue vers le sol, à partir de 78.10-6/km elle *suit la courbure terrestre* (figs I.3.2*e, f* et *g*). Au-delà il y a rebondissements successifs sur le sol, l'onde peut se propager alors à très grande distance, captive qu'elle est entre la terre qui la réfléchit d'une part, et la zone à forte variation d'indice qui la rabat de l'autre.

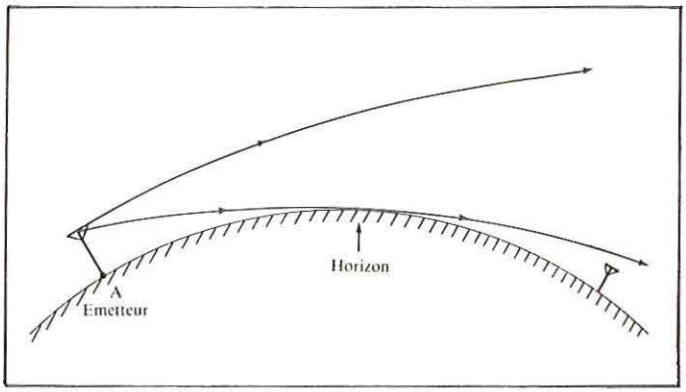


Fig. I.3.2*e*. Pour une variation d'indice de réfraction normale ou inférieure à la normale, l'onde disparaît dans l'espace au-delà de l'horizon.

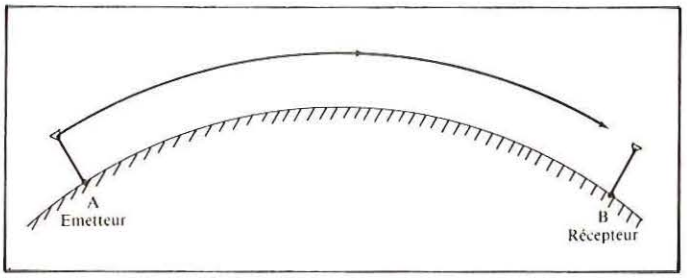


Fig. I.3.2*f*. Avec un indice variant de 78.10-6/km, l'onde pourrait suivre la courbure de la terre.

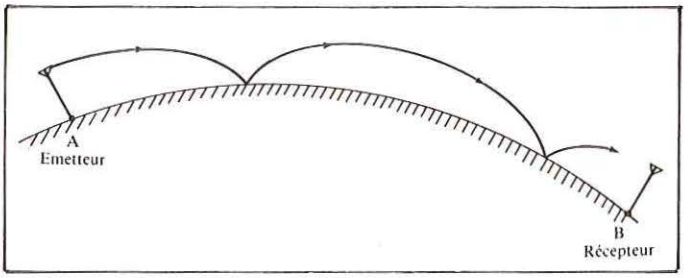


Fig. I.3.2*g*. Pour une variation d'indice supérieure à 78.10-6/km, l'onde ne peut s'échapper de l'atmosphère.

Ces phénomènes de courbure sont relativement ténus, et ne peuvent porter que sur des ondes émises le plus horizontalement possible ; comme ce mode de propagation ne concerne dans la pratique que les ondes T.H.F. et au-delà, il faudra sur ces bandes utiliser des aériens produisant leur maximum de rayonnement à l'horizontale ; toute énergie expédiée au-dessus de quelques degrés par rapport à l'horizon est irrémédiablement perdue dans l'espace.

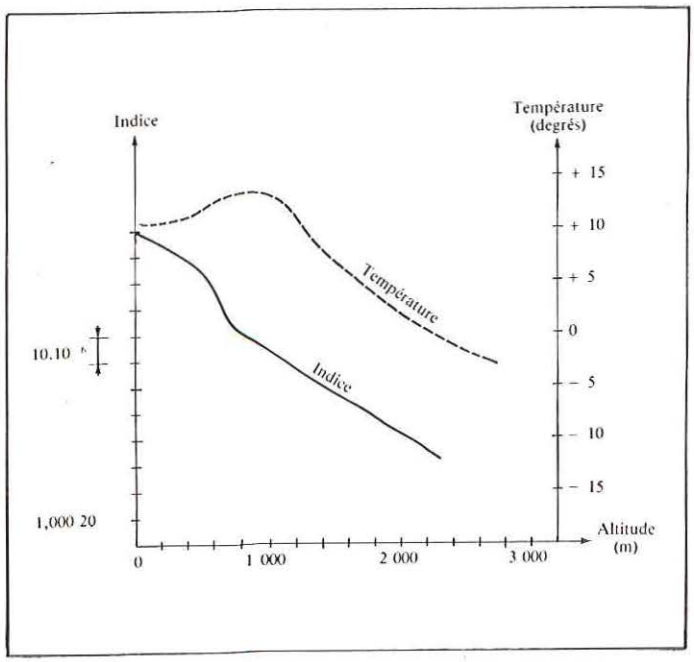


Fig. I.3.2*h*. Relevés d'indice et de température en fonction de l'altitude expliquant une propagation exceptionnelle sur 144 MHz.

Pour que se produise une propagation bonne ou exceptionnelle sur T.H.F., il est donc nécessaire qu'à une certaine altitude l'indice varie plus rapidement que de coutume ; la figure I.3.2*h* donne un exemple de variation d'indice entre 0 et 3 000 m pour un jour de très bonne propagation. On constate qu'entre 600 et 800 m ce jour-là, l'indice variait de 20.10-6 soit 100.10-6/km. En pointillé, on a représenté la variation de la température avec l'altitude ; comme on peut le voir, dans la zone concernée, contrairement à l'habitude, la température augmente avec l'altitude, on parle de *zone d'inversion de température,* c'est cette présence d'air chaud et généralement sec (faible indice) juste au-dessus d'air froid et humide (indice élevé) qui a créé l'inhomogénéité d'indice suffisante pour rabattre les ondes radioélectriques vers le sol.

I.3.3. La recherche des inversions de température

L'amateur de T.H.F., s'il recherche les liaisons à grandes distances, devra rester vigilant à la recherche de ces possibilités d'inversions de température ; il faut s'intéresser par exemple aux fronts, qu'ils soient chauds ou froids ; au lever du soleil où l'atmosphère déjà éclairée commence à s'échauffer alors que le sol est toujours froid ; au coucher du soleil qui provoque le même phénomène quoique moins marqué, si le sol se refroidit assez rapidement.

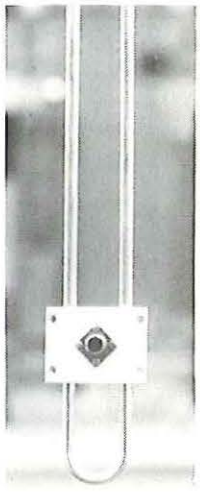
Le brouillard au sol dénotant une humidité à 100 % est bénéfique s'il est surmonté d'air sec plus chaud ; la mer, les rivières et les vallées par évaporation créent cette situation idéale d'air frais et humide surmonté d'air sec et chaud ; sur mer, on obtient un véritable effet de guide d'onde transportant les signaux sur plusieurs centaines de kilomètres.

Notons que la propagation troposphérique conserve à peu près la polarisation des ondes, les deux correspondants devront donc utiliser des aériens possédant la même polarisation s'ils ne veulent pas introduire une atténuation assez importante au niveau des signaux reçus.

Actuellement sur T.H.F. le trafic B.L.U. et télégraphie s'effectue en polarisation horizontale, ainsi que les transmissions T.V. sur U.H.F. ; par contre le trafic F.M., qu'il soit direct, avec des mobiles ou via relais s'effectue en polarisation verticale, ce qui ne simplifie pas la tâche des amateurs désireux d'exploiter tous ces modes de trafic.

(A SUIVRE)

NOUVEAUTES



ANTENNE 144 MHz

SLIM JIM

distibuée par

G.E.S.-NORD